*



Ильясов Ф. Н.[1] Закон Ома в первоначальной редакции. М.: ИЦ Орион. 2021, март. Препринт.

Iliassov F.N.[2] Ohm's law in his the initial version. Moscow: IC Orion. 2021. March. Preprint.

Аннотация

В статье рассматривается формула закона Георга Ома, данная им в его редакции. Его формула описывает величину электроэнергии, пропускаемую проводником при прохождении электричества через него, в зависимости от его свойств. В статье поднимается вопрос о целесообразности возвращения к первоначальной формуле закона Ома, т.к. она яснее и адекватнее отражает содержание процесса прохождения электроэнергии по цепи (участку цепи). Показывается, что при измерении величины электроэнергии в единицах энергии, упрощается описание и понимание закономерности, описанной Омом, электрических процессов в целом.

Ключевые слова: закон Ома; теория электричества; электропроводимость; электрическая цепь; электрическая энергия

Abstract

The article considers the formula of the law of George Ohm, given to in its original version. Its formula describes the amount of electricity transmitted by a conductor when electricity passes through it, depending on its properties. The article discusses the feasibility of returning to the original formula of Ohm's law, because it more clearly and adequately reflects the content of the process of the passage of electricity through the circuit (section of the circuit). It is shown that when measuring the amount of electricity in units of energy, the description and understanding of the regularity described by Ohm, of electrical processes as a whole, is simplified.

Key words: Ohm's law; theory of electricity; electrical conductivity; electric circuit; electric energy

---

[1] Фархад Назипович Ильясов. Исследовательский центр Орион. E-mail: iliassov.farkhad@yahoo.com

[2] Farkhad Nazipovich Iliassov. Orion Research Center. E-mail: iliassov.farkhad@yahoo.com

Содержание

1. Введение
2. Унитарная концепция электричества
3. Формула закона Ома в его редакции
4. Электрические величины и единицы измерения
5. Измерение электрических величин
6. Электропроводимость и электро-поглощение проводника, элемента цепи
7. Последовательное подключение абсорберов («резисторов»)
8. Параллельное подключение абсорберов («резисторов»)
9. Заключение

Content

1. Introduction
2. The unitary concept of electricity
3. Formula of Ohm's law in its edition
4. Electrical quantities and units
5. Measurement of electrical quantities
6. Electrical conductivity and electrical absorption of a conductor, circuit element
7. Series connection of absorbers ("resistors")
8. Parallel connection of absorbers ("resistors")
9. Conclusion

1. Введение

Madhu Gupta отметил: «Похоже, что не хватает понимания того, в чем именно заключался вклад Ома. …Изучение закона Ома с современной точки зрения, и с учетом ретроспективности, поможет понять его ограничения, обобщения и окончательную основу в фундаментальных законах физики» [Gupta, 1980: 156].

Целью статьи является изложение формулы закона Ома в ее первоначальной редакции и истолкование ее в рамках унитарной, квантовой концепции электричества. Положения этой концепции изложены, например: [Франклин, 1956; Эпинус, 1951; Ильясов, 2019; Ильясов 2020].

В литературе отмечается проблема сложности объяснения закона Ома ученикам [Kipn, 2009]. Как представляется описание закона Ома в его начальной редакции и в рамках унитарной концепции электричества, проясняет содержание описываемых процессов и улучшает их понимание.

2. Унитарная концепция электричества

Исходные положения унитарной, квантовой теории электричества, используемые в настоящем изложении:

1. Электрический ток – это движение порций, квантов электрической энергии из того места, где их больше, в то место, где их меньше, то есть движение от избыточно заряженной («положительной») клеммы источника тока к дефицитно заряженной («отрицательной») клемме источника тока.

2. Тела, на которых находится разное количество электроэнергии, притягиваются. Происходит это в силу того, что тело, на котором меньше электроэнергии, притягивает к себе электро-кванты с тела (вместе с телом), на котором их больше, с тем, чтобы выровнять количество электроэнергии на обоих телах.

3. Движение электроэнергии задается двумя факторами:

а) Электро-кванты имеют свойство отталкиваться друг от друга, потому в избыточно заряженном месте они имеют потенциал отталкивания, могут излучаться в окружающее пространство.

б) Дефицитно заряженное место притягивает электро-кванты из места, где их больше.

В результате действия этих двух факторов возникает поток электроэнергии в проводнике и между диэлектриками.

Главным фактором является притяжение электро-квантов дефицитно заряженным местом. Ведь электро-кванты из избыточно заряженного мета могут излучаться в окружающее пространство, но направленного потока они сформировать не могут. Для создания направленного потока нужно, чтобы эти электро-кванты притягивались к определенному месту.

Из изложенного следует важный вывод: ток возникает не вследствие того, что электро-кванты «выталкиваются» из избыточно заряженного места, а вследствие того, что электро-кванты притягиваются дефицитно заряженным местом. Точнее говоря, электрический ток возникает не столько вследствие того, что избыточно заряжённое место источника тока «выталкивает» электро-кванты, сколько вследствие того, что дефицитно заряженное место притягивает их[3].

Вероятно, реальное количество электроэнергии, протекающее в данной точке цепи, может релевантно измеряться «тепловым действием тока», т.е. количеством теплоты,

---

[3] Можно предполагать, что подобное происходит и с передачей тепловой энергией – тепловой поток, передача тепла, происходит вследствие того, что элемент, у которого температура ниже, притягивает тепловую энергию от элемента, у которого температура выше.

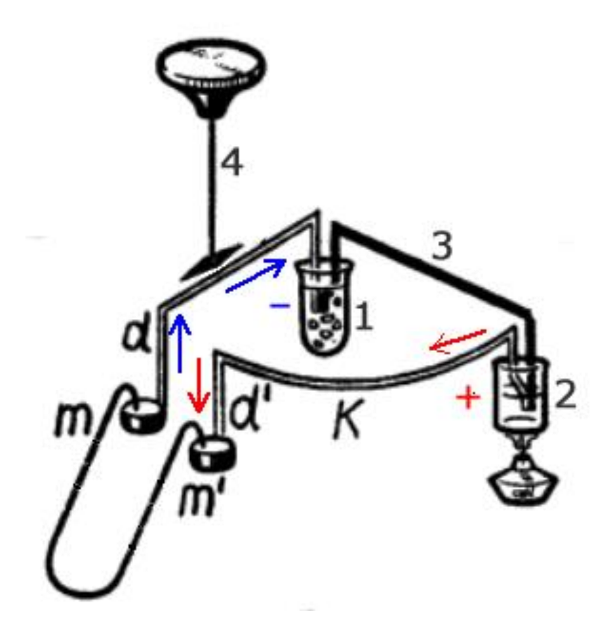
выделяемым нагрузкой, при прохождении тока через нее. Далее в приводимых условных примерах «тепловое действие тока» будет измеряться условными «электро-колориметрами».

4. Формула закона Ома в его редакции

Формула закона Ома, как она принята в современном «каноническом» виде, не есть исходная формула, предложенная самим Омом, а результат ее интерпретации; см., например: [Kipn, 2009]. Не все авторы едины во мнении о том, какая из формул Ома может рассматриваться в качестве исходной и основной в формулировании закона Ома.

Электрическая цепь в экспериментах Ома состояла из обследуемой проволоки, подключаемой к источнику питания, см. рис. 1. С одной стороны в проволоку поступал поток электроэнергии определенной величины, одна часть этой энергии поглощалась проволокой. Оставшаяся после поглощения часть электроэнергии доходила до конца цепи. Величина электроэнергии, дошедшей до конца цепи, измерялась электромагнитным электрометром. Иначе говоря, Ом измерял величину энергии потока электричества на входе в проволоку, и на выходе из нее.

Рис. 1. Схема прибора Георга Ома для измерения электро-поглощения, электропроводимости проволок [Кошманов, 1980: 50]



1, 2, 3 – термоэлектрический источник тока (пара «медь-висмут»); 4 – магнитный электрометр; m, m' – чашечки с ртутью, в которые опускалась испытуемая проволока; K – соединительный провод.

Ом оперировал величиной (мгновенным, текущим значением) количества электроэнергии, т.е. величиной энергии потока электричества: 1. входящей в цепь, 2. поглощаемой проволокой, 3. выходящей из цепи. Понятно, в его описании и измерениях нет таких единиц измерения как «ампер», «вольт», «ом», а только «количество электричества», величина энергии потока электричества.

В двух работах Ома [Ohm, 1826: 460, 462] и [Ohm, 1827: 36, 177] приведены по две одинаковых формулы (1), (2), отражающие характер протекания электроэнергии в цепи. Ниже они приведены в редакции 1827 г. (разница с 1826 г. только в символах, обозначающих величины).

$$S = \frac{A}{L}\,; \qquad (1)$$

где:

S – показания магнитного электрометра, интерпретируемые в настоящем изложении как величина электроэнергии, доходящей до конца цепи.

A – величина электроэнергии, входящей в исследуемую проволоку (задается разностью в количестве электроэнергии между местом входа в цепь и местом выхода из нее).

L – длина проволоки, «понимаемая как сумма всех факторов», включая электропроводимость и размер поперечного сечения.

В более поздней редакции, приведенная выше формула (1) изложена в редакции (2).

$$S = \omega\,\varkappa\,\frac{du}{dx}\,; \qquad (2)$$

где:

S – величина электроэнергии, доходящей до конца цепи. Эта величина показывает, какое количество электроэнергии дошло до конца цепи, после ее поглощения проволокой.

ω – площадь поперечного сечения проволоки.

$\varkappa$ – удельная электропроводимость проволоки.

du – величина электроэнергии, входящей в исследуемую проволоку (задается разностью в количестве энергии между входом в цепь и на выходе из нее).

dx – длина проволоки.

Если параметры «удельная электропроводимость», «поперечное сечение проволоки», «длина проволоки», заменить на «результирующий» коэффициент электропроводимости

проводника (элемента цепи), то формулу Ома, исходя из ее начального изложения, можно записать в виде (3).

$$S = du \times C\varkappa; \qquad (3)$$

Где:

S – величина электроэнергии, доходящей до конца цепи. Эта величина показывает, какое количество электроэнергии дошло до конца цепи, после ее поглощения нагрузкой.

du – величина энергии потока электричества, входящего в исследуемую проволоку (задается разностью между количеством энергии входящей в цепь и на выходе из нее).

$C\varkappa$ – коэффициент электропроводимости проволоки. Коэффициент электропроводимости показывает, какую *долю* величины электроэнергии элемент цепи пропускает через себя, при прохождении электроэнергии через него.

Величина энергии потока электричества в конце цепи, равна величине энергии потока электричества, поступающей цепь, умноженной на коэффициент электропроводимости. Или: величина энергии потока электричества в конце цепи, пропорциональна величине энергии потока электричества, поступающей цепь, и обратно пропорциональна величине энергии, поглощаемой элементами цепи.

Исходя из вышеизложенного, формула Ома может быть представлена в более простой форме (4):

$$E_{output} = E_{input} - E_{abcorb}; \qquad (4)$$

где:

E_{output} – величина электроэнергии, выходящей из цепи.

E_{input} – величина электроэнергии, входящей в цепь.

E_{abcorb} – величина электроэнергии, поглощаемая элементами цепи.

Как отмечает Nahum Kipnis – предположение Ома о возможной разности величины энергии потока электричества на входе в проволоку, и на выходе из нее, было революционным для его времени [Kipnis, 2009: 361].

Формула (2), как представляется, является первоначальной (исходной) формулой закона Ома. При этом она не утратила своей актуальности, т.к. для понимания прохождения тока по цепи, в конечном счете, важно понимать, сколько электроэнергии входит в элемент цепи и сколько выходит из него. Далее формула Ома (2) излагается в редакции (3), более удобной для описания процессов протекания электроэнергии по цепи.

Colm O'Sullivan отмечает – часто на вводных курсах физики на университетском уровне понимание студентами электрического сопротивления усугубляются путаницей, которая возникает, «когда предпринимаются попытки дать точное определение электрического сопротивления и в то же время ввести закон Ома». [O'Sullivan, 1980: 237]. O'Sullivan приводит указанную ниже формулировку (5) как более понятную для студентов [O'Sullivan, 1980: 239], которая концептуально перекликается с начальной формулой Ома в редакции (3):

$$j = \sigma E \qquad (5)$$

где:

j – плотность тока («current density»).

σ – электропроводимость («conductivity»).

E – напряженность электрического поля («electric field strength»).

Важно уточнить – в обсуждаемых формулах (2), (3) Георг Ом использует величину электропроводимости, а не «сопротивления».

5. Электрические величины и единицы измерения

Роберт Поль (Robert Pohl, 1931) указывал: «Всякая единица является произвольной. При установлении, например, единицы тока всецело от нашего произвола зависит, какие действия тока положить в основу – магнитные, электролитические или тепловые» [Поль, 1933: 19].

Электроэнергия является одним из видов энергии. Все электрические величины измеряют количество электрической энергии, которая элементами цепи:

а) выделяется (генерируется),

б) проводится (передается),

в) поглощается,

е) накапливается,

ж) излучается.

Исходя из того, что электричество – вид энергии, логично было бы все электрические величины измерять в единицах именно энергии – калориях (cal).

Различные электрические величины отражают характеристику того или иного электрического процесса, и всегда в своей основе отражают один электрический параметр – количество электрической энергии, потому все электрические величины могут иметь одну общую единицу измерения энергии – cal.

Соответственно, мощность энергии потока электричества измеряется в cal/s. Далее, для простоты изложения, будет использоваться мгновенное (текущее) значением величины мощности энергии потока электро-квантов, измеряемой в cal.

Использование различных электрических величин («сила тока», «электрический заряд», «напряжение», «сопротивление», электрическая емкость, и др.), имеющих существенно различающиеся единицы измерения (ампер, кулон вольт, ом, фарад, и др.), усложняет понимание и описание электрических процессов и взаимосвязь электрических феноменов.

Измерение всех электрических величин в одних единицах, делает эти величины сопоставимыми и легко сравнимыми, а описание процессов делается более простым и понятным.

В качестве характеристики тока в дальнейшем изложении используется и тепловое действие тока, т.е. величина электрической энергии, измеряемая в калориях.

Динамическое электричество в проводнике существует в виде потока энергии электро-квантов определенной мощности. Мощность энергии потока электро-квантов задается двумя взаимосвязанными параметрами:

1. разностью в количестве электрической энергии между избыточно заряженной («положительной») клеммой и дефицитно заряженной («отрицательной») клеммой;
2. соотношением величин электроэнергии между этими клеммами.

Разность количества энергии между двумя клеммами источника тока задает величину электроэнергии, которая переносится из избыточной в дефицитную клемму.

Отношение величины электроэнергии в избыточно заряженной клемме к величине электроэнергии в дефицитной клемме, задает скорость перемещения электроэнергии, точнее, «коэффициент скорости».

Мощность энергии потока электро-квантов, входящего в цепь, равна разности количества электроэнергии между двумя клеммами, умноженной на коэффициент скорости; подробнее см.: [Ильясов, 2020].

6. Измерение электрических величин

В начале своих экспериментов Георг Ом исследовал возможность измерения количества протекающего по проволоке электроэнергии по степени нагрева этой проволоки. В результате проведенных опытов он пришел к выводу – количество выделяемого отдельной проволокой теплоты, при прохождении тока через цепь последовательно соединенных проволок, не эквивалентно влиянию этого количества электроэнергии на отклонение магнитной стрелки. [Кошманов, 45-46].

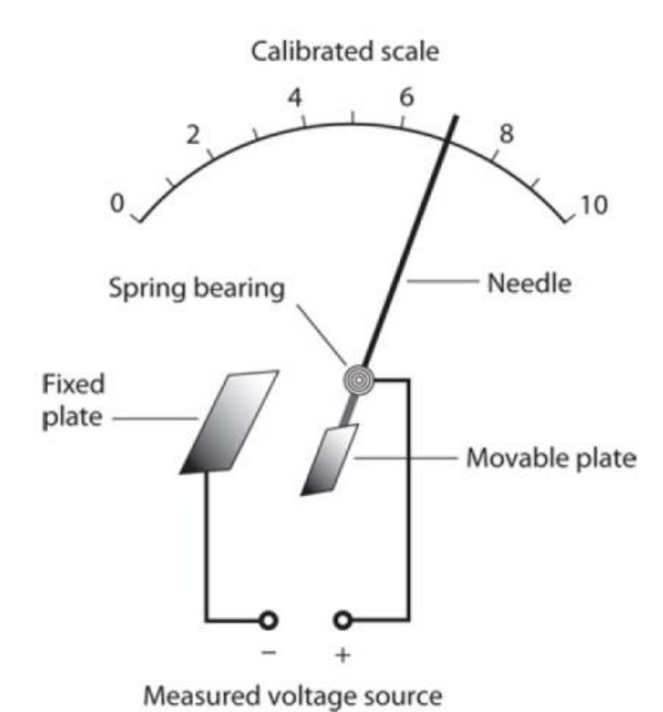
В качестве характеристики тока Ом выбрал действие электрического тока, действие поля квантов электрической энергии на поле квантов магнитной энергии, находящихся на магнитной стрелке («действие тока на магнит»). В экспериментах Ом использовал созданный

им вариант магнитного электрометра в виде крутильных весов, показывавших степень отклонения магнитной стрелки на шкале прибора, в зависимости от мощности потока электроэнергии, доходящего до конца цепи. Этот электроизмерительный прибор располагался (подвешивался) сверху над проволокой [Кошманов, 1980: 51], т.е. не включался в цепь ни параллельно, ни последовательно, и не потреблял электроэнергию цепи, см. рис. 1.

Ом использовал открытый Гансом Эрстедом (1820) феномен отклонения магнитной стрелки под воздействием поля электро-квантов, перемещающихся по проволоке, при этом величина отклонения зависела от мощности энергии потока электро-квантов. Подробнее об открытии Эрстеда с точки зрения унитарной теории электричества см.: [Ильясов, 2019].

Прибором, не использующим энергию цепи, при измерении разности в количестве электроэнергии в двух точках (только малые диэлектрические потери и малые токи утечки), является электростатический электрометр или электростатический измерительный механизм (ИМ). Его иногда называют «электростатический вольтметр» (electrostatic voltmeter), хотя им может измеряться и «напряжение», и «сила тока». Ю. М. Белоусов и соавторы отмечают: «Амперметры и вольтметры с электростатическим ИМ работают как на постоянном, так и на переменном токе» [Белоусов и др., 2004: 25].

Рис. 2. Схема электростатического электрометра [Gibilisco et al., 2016: 61]



Fixed plate – неподвижная пластина («обкладка»). Movable plate – подвижная пластина («обкладка»). Spring bearing – пружина.

Электростатический электрометр представляет собой воздушный конденсатор (см. рис. 2), в котором используется феномен притяжения пластин (обкладок) в зависимости от соотношения количества энергии на них, подробнее, например: [Gibilisco et al., 2016: 59-61].

Если подключить электростатический электрометр параллельно нагрузке, то в этом случае на одну пластину электрометра поступает поток энергии перед нагрузкой, а на другую пластину – поток энергии после нагрузки. На пластинах накапливается разное количество энергии, пропорциональное мощности потоков энергии на входе и выходе из нагрузки, и пропорционально электроемкости пластин. Таким образом, электростатический электрометр отражает разность в количестве электроэнергии, входящей в нагрузку и выходящей из нее, см. рис. 3. Шкалу электрометра можно градуировать так, чтобы он показывал величину электроэнергии, измеряемую в cal.

Если подключить электростатический электрометр к клеммам источника тока, то он будет измеряться разность в величине электроэнергии между избыточно заряженной («положительной») клеммой источника тока и дефицитно заряженной («отрицательной») клеммой источника тока.

7. Электропроводимость и электро-поглощение проводника, элемента цепи

Франц Эпинус (Franz Aepinus, 1759) определял электрическое «сопротивление» как «непроводимость», свойство определенных веществ (изоляторов, диэлектриков) не пропускать электрический ток через себя [Эпинус, 1951: 24].

Георг Ом процесс поглощения электроэнергии элементами цепи, называл «потеря энергии». Это начальное название, как представляется, адекватнее отражает физическую суть процесса. Ведь проводник не «сопротивляется» прохождению потока электроэнергии, а «теряет», точнее поглощает и излучает часть ее. При таком понимании логичнее процесс называть не «электрическим сопротивлением», а электро-поглощением, электро-абсорбцией. Сам элемент цепи, поглощающий часть электроэнергии, проходящей через него, можно назвать **абсорбером**.

Можно говорить, что «сопротивляются» прохождению электрического тока изоляторы (диэлектрики). Т.е. проводники поглощают электроэнергию, а изоляторы (почти) не пропускают ток.

Электропроводимость – свойство тела (вещества) пропускать через себя определенную часть, долю величины потока электроэнергии, проходящего через него. Электропроводимость зависит от удельной (объемной) электропроводимости среды, т.е. электропроводимости определенного вещества, определенного объема.

Электропроводимость, как показатель «пропускания» энергии, может измеряться в cal. **Коэффициент электропроводимости** ($C_{conduct}$) абсорбера, проводника, элемента цепи,

показывает, какую долю энергии потока электричества, проходящего через него, элемент цепи пропускает через себя. Коэффициент электропроводимости вычисляется делением величины энергии потока электричества, выходящей из элемента цепи (E_{output}), на величину энергии потока электричества входящую в него (E_{input}), см. формулу (6).

Например, если величина энергии потока электричества, входящего в элемент цепи E_{input} = 150 cal, а выходящая из него величина энергии E_{output} = 135 cal, тогда коэффициент электропроводимости этого элемента цепи $C_{conduct}$ = 0,9; см. (6). Иначе говоря, данный элемент цепи пропускает 90% энергии, входящей в него.

$$C_{conduct} = \frac{E_{output}}{E_{input}} = \frac{135\ cal}{150\ cal} = 0{,}9 \qquad (6)$$

Коэффициент электропроводимости может колебаться в пределах от нуля (полная непроводимость, изоляторы) до 1 (сверхпроводимость).

Исходя из принятых обозначений величин, приведенную выше первоначальную (исходную) формулу Ома (3) можно изложить с предлагаемыми обозначениями величин в реакции (7).

$$E_{output} = E_{input} \times C_{conduct}; \qquad (7)$$

где:

E_{output} – величина энергии потока электричества, доходящей до конца цепи.

E_{input} – величина энергии потока электричества, входящей в цепь.

$C_{conduct}$ – коэффициент электропроводимости.

Электро-поглощение – свойство тела (вещества) поглощать определенную часть, долю мощности потока электроэнергии, проходящего через него. **Коэффициент электро-поглощения** (C_{absorb}) абсорбера, элемента цепи, показывает, какую долю мощности проходящего через него потока энергии он поглощает. Коэффициент электро-поглощения есть отношение величины электроэнергии, поглощаемой элементом цепи энергии (E_{absorb}), к величине электроэнергии входящей в него. В рассматриваемом примере C_{absorb}=0,1; см. (8). Иначе говоря, в данном примере, элемент цепи поглощает (и затем излучает) 10% энергии, входящей в него.

$$C_{absorb} = \frac{E_{absorb}}{E_{input}} = \frac{15\ cal}{150\ cal} = 0{,}1; \qquad (8)$$

Величина электро-поглощения рассчитывается по формуле (9):

$$E_{abcorb} = E_{input} \times C_{abcorb}; \qquad (9)$$

где:

E_{abcorb} – величина энергии, поглощаемая абсорбером.

E_{input} – величина энергии, входящей в абсорбер.

C_{abcorb} – коэффициент электро-поглощения.

Абсолютная величина электро-поглощения проводника ограничена тем, что при определенных ее значениях, от повышения температуры, вещество проводника деформируется, расплавляется, и т.д.

Мощность потока электроэнергии в проводнике уменьшается, по ходу движения электроэнергии в нем, пропорционально коэффициенту электро-поглощения проводника.

Электрически приборы (лампочки, чайники, утюги и проч.) маркируются мощностью электро-поглощения, измеряемую в ваттах. При измерении мощности поглощения электроэнергии в калориях, становится наглядным и понятным соотношение величины мощности поглощения с мощностью электроэнергии, входящей в элемент цепи и выходящей из него.

Ниже приведены условные примеры расчетов изменения величины энергии потока электричества при параллельном и последовательном подключении абсорберов («резисторов») с использованием первоначальной (исходной) формулы закона Ома.

8. Последовательное подключение абсорберов («резисторов»)

Далее рассматриваются фиксированные, активные (линейные) абсорберы, т.е. те, величины коэффициентов электропроводимости и электро-поглощения которых изменяются незначительно в зависимости от мощности потока электроэнергии проходящей через них. При любом подключении абсорберов, каждый абсорбер пропускает и поглощает долю потока электроэнергии в соответствии с величиной своего коэффициента электропроводимости и электро-поглощения.

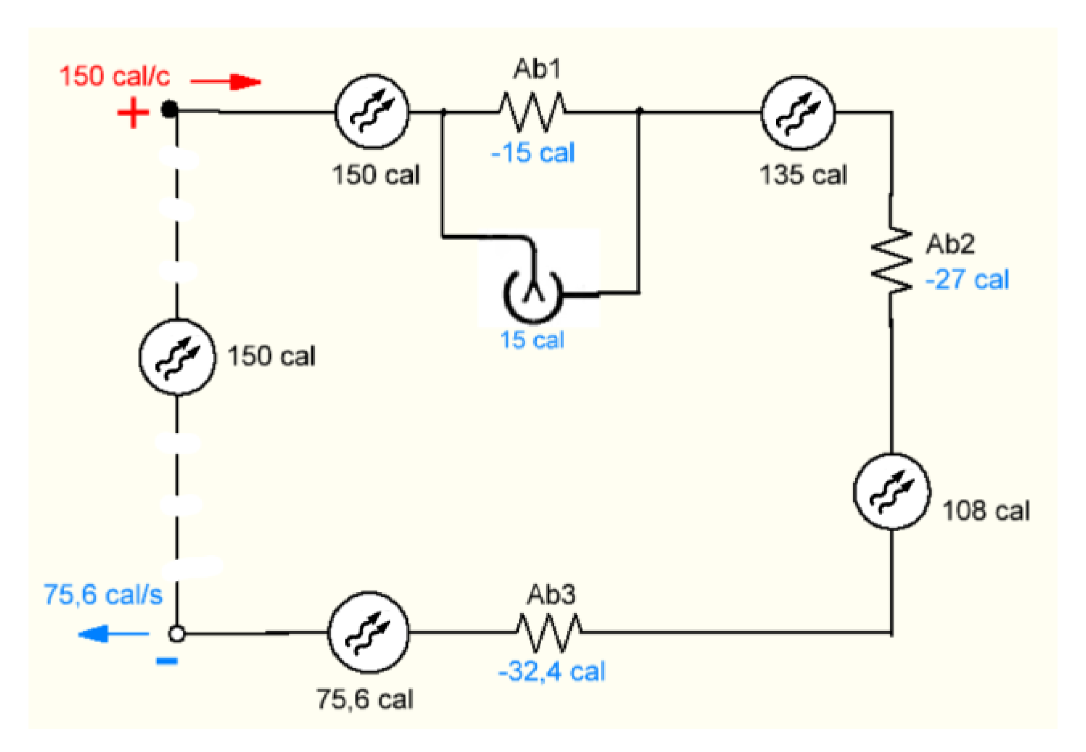
Например, цепь состоит из трех последовательно соединенных абсорберов («резисторов») Ab1, Ab2, Ab3 (см. рис. 3), с величинами коэффициентов электропроводимости ($C_{conduct}$) равными: Ab1 = 0,9; Ab2 = 0,8; Ab3 = 0,7. Соответственно, коэффициенты электро-поглощения (C_{absorb}) этих абсорберов составят: Ab1 = 0,1; Ab2 = 0,2; Ab3 = 0,3.

Текущая (мгновенная) величина энергии потока электроэнергии, поступающей в цепь E_{input} = 150 cal; см. рис. 3. Величина энергии потока электричества, входящей в цепь, при прохождении через каждый абсорбер, уменьшается пропорционально коэффициенту абсорбции (электро-поглощения) каждого абсорбера. И из последнего абсорбера выходит поток энергии величиной E_{ouput} = 75,6 cal, см. рис. 3.

Величина электро-поглощения (E_{absorb}) абсорбера Ab1 = 15 cal (150 cal × 0,1).

В абсорбер Ab1 входит поток электроэнергии энергии величиной Einput = 150 cal. Коэффициент электропроводимости (Cconduct) абсорбера Ab1 = 0,9. Соответственно из него выходит поток энергии величиной Eouput = 135 cal (150 cal × 0,9).

Рис. 3. Схема последовательного соединения трех абсорберов (*Ab*) с разными величинами электро-поглощения. Показаны значения электрометра* и калориметров**



*Значок обозначает электростатический электрометр, значок предложен Робертом Полем [Поль, 1933: 22].

**Значок обозначает калориметр, показывающий величину энергии потока электричества в cal.

На первую пластину электростатического электрометра, подключенного параллельно к абсорберу *Ab*1 (см. рис. 3), входит поток электроэнергии =150 cal, а на вторую пластину входит поток электроэнергии =135 cal. Пропорционально этим величинам на пластинах электрометра накапливается количество электроэнергии, пропорциональное электроемкости пластин. Пластина с меньшим количеством электроэнергии притягивает электро-кванты на пластине с большим количеством электроэнергии, притягивая тем самым саму пластину. При соответствующей калибровке электрометр покажет разность в количестве энергии на пластинах равную 15 cal (см. рис. 3).

В абсорбер *Ab*2 входит поток электроэнергии величиной E_{input} = 135 cal. Коэффициент электропроводимости абсорбера *Ab*2 = 0,8. Соответственно, из второго абсорбера (*Ab*2) выходит поток энергии величиной PE_{input} = 108 cal (135 cal × 0,8).

Величина электро-поглощения (E_{absorb}) абсорбера *Ab*2 = 27 cal (135 cal × 0,2).

В абсорбер *Ab*3 входит поток электроэнергии величиной E_{input} = 108 cal. Коэффициент электропроводимости абсорбера *Ab*3 = 0,7. Из третьего абсорбера выходит поток энергии величиной E_{output} = 75,6 cal (108 cal × 0,7).

Величина поглощения энергии (E_{absorb}) абсорбера *Ab*3 = 32,4 cal (108 cal × 0,3).

Суммарная величина энергии, поглощаемой тремя последовательно соединенными абсорберами ΣE_{absorb} = 74,4 cal (15 cal + 27 cal + 32,4 cal).

Величина энергии потока электричества, доходящей до конца цепи, E_{output} = 75,6 cal. Это и есть величина энергии, проходящей по всей цепи.

Количество теплоты, выделяемое каждым абсорбером индивидуально, зависит от его коэффициента электро-поглощения, оно отражает количество энергии проходящей по отдельному абсорберу, но не может отражать количества энергии проходящей по всей цепи.

9. Параллельное подключение абсорберов («резисторов»)

Примем тот же пример: величина энергии потока электричества, поступающей в цепь E_{input} = 150 cal. Три абсорбера подключены параллельно, величины их коэффициентов электропроводимости равны: *Ab*1=0,9; *Ab*2=0,8; *Ab*3=0,7. Соответственно, величины их коэффициентов электро-поглощения равны: *Ab*1=0,1; *Ab*2=0,2; *Ab*3=0,3.

На каждую из трех ветвей цепи, т.е. на каждый из абсорберов, поступит ток с величиной энергии пропорциональной параметрам абсорбера, см. рис. 4.

Электрическая цепь это динамическая система, в случае разветвления цепи, энергии проходит больше по той ветке, у которой выше пропускная способность –

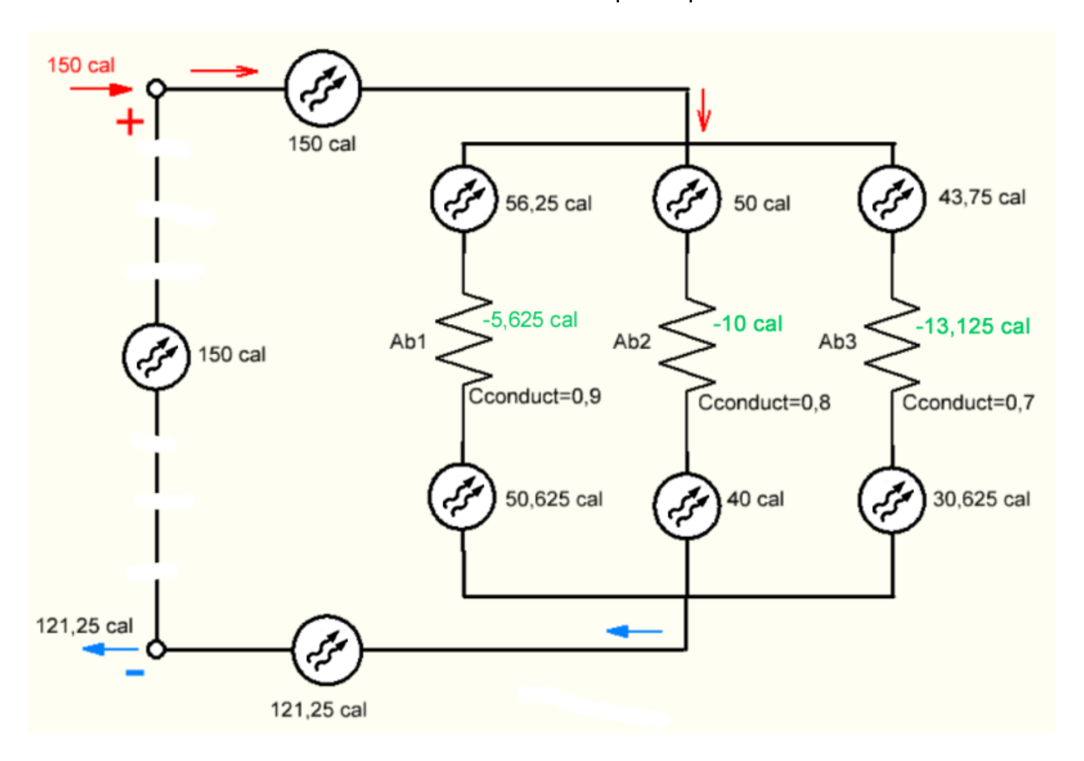
электропроводимость. Величина энергии потока электро-квантов разветвляется на три ветки пропорционально удельному весу коэффициента электропроводимости каждого абсорбера (сумма коэффициентов электропроводимости трех абсорберов равна 2,4). В абсорберы входят (см. рис. 4) потоки электроэнергии E_{input} следующей мощности:

Ab1: E_{input} = 150 cal × 0,9 / 2,4 = 56,25 cal

Ab2: E_{input} = 150 cal × 0,8 / 2,4 = 50 cal

Ab3: E_{input} = 150 cal × 0,7 / 2,4 = 43,75 cal

Рис. 4. Схема параллельного соединения трех абсорберов (*Ab*) с разными коэффициентами электропроводимости ($C_{conduct}$) и показаниями калориметров



В каждой ветке цепи энергия поглощается в соответствии с коэффициентом электро-поглощения. Поток энергии, выходящей из абсорберов, рассчитывается по формуле Ома в редакции (7). Из абсорберов выходит поток энергии E_{output}, пропорциональной величине коэффициента электропроводимости, см. табл.

Табл. Полученные величины энергии, выходящей из абсорберов
и величины электро-поглощения в условном примере

Абсорберы	Вычисление величин энергии, выходящей из абсорберов - E_{output}	Величины энергии, выходящей из абсорберов - E_{output}, cal	Вычисление величин электро-поглощения	Величины электро-поглощения - E_{absorb}, cal
Ab1	56,25 cal × 0,9	50,625	56,25 cal × 0,1	5,625
Ab2	50 cal × 0,8	40	50 cal × 0,2	10,0
Ab3	43,75 cal × 0,7	30,625	43,75 cal × 03	13,125
Ab1, Ab2, Ab3	—	∑ = 121,25	—	∑ = 28,75

Рассчитанное по формуле (7) количество энергии, поглощенное тремя абсорберами, составляет 28,75 cal.

Общее количество энергии, выходящей из трех абсорберов, составляет 121,25 cal.

10. Заключение

Изложенные выше условные примеры расчетов прохождения электрической энергии по цепям показывают, что измерение мощности энергии электрического тока в единицах энергии, унифицирует единицы измерения различных электрических величин, упрощает описание и понимание электрических процессов, в том числе за счет сопоставимости электрических величин.

Возвращение к первоначальной редакции закона Ома позволяет более адекватно описывать электрические процессы и упрощает их понимание.

Ссылки \ References

БЕЛОУСОВ Ю. М., РОМАНОВА Л. А., УСЕИНОВ А. Р. (2004) Поверка и калибровка амперметров, вольтметров, ваттметров и варметров. Учебное пособие. Москва: Академия стандартизации, метрологии и сертификации.

BELOUSOV Yu. M., ROMANOVA L. A., USEINOV A. R. (2004) Verification and calibration of ammeters, voltmeters, wattmeters and varmeters. Textbook. Moscow: Academy of Standardization, Metrology and Certification. (in Russ)

ИЛЬЯСОВ Ф. Н. (2019) Кванты электрической энергии – о концепции электричества Бенджамина Франклина. М.: ИЦ Орион, ноябрь. Препринт.

ILIASSOV, Farkhad N. (2019) Quanta of electrical energy – on the concept of electricity Benjamin Franklin. Moscow: IC Orion. Preprint. (in Russ)

ИЛЬЯСОВ Ф. Н. (2020) Мощность потока электроэнергии в квантовой концепции электричества. М.: ИЦ Орион, февраль. Препринт.
ILIASSOV F. N. (2020) Electricity flow power in quantum electricity concept. Moscow: IC Orion, February. Preprint. (in Russ)

ПОЛЬ Р. В. (1933) Введение в учение об электричестве. М.-Л.: ГТТИ.
POHL, Robert Wichard (1931) Einführung in die Elektrizitätslehre. Berlin: Springer.

ФРАНКЛИН В. (1956) Опыты и наблюдения над электричеством. М.: Изд-во АН СССР.
Benjamin FRANKLIN'S Experiments. (1941) A new edition of Franklin's Experiments and Observations on Electricity. In ed. I. Bernard Cohen. Cambridge, Massachusetts. (Russ. ed.)

ЭПИНУС Ф. У. Т. (1951) Теория электричества и магнетизма. М.: Изд-во АН СССР.
AEPINUS, Franz. (1951) Theory of electricity and magnetism. Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. (Russ. ed.)

GIBILISCO, Stan; MONK, Simon. (2016) Teach Yourself Electricity and Electronics. 6-d ed. McGraw-Hill Education.

GUPTA, Madhu. Georg Simon Ohm and Ohm's Law. (1980, September) IEEE Transactions on Education. 23(3): pp. 156 – 162.

KIPNIS, Nahum. (2009) A Law of Physics in the Classroom: The Case of Ohm’s Law // *Sci & Educ*. No. 18, pp. 349–382. https://www.academia.edu/10253603/A_Law_of_Physics_in_the_Classroom_The_Case_of_Ohm_s_Law (2020-02-23)

OHM, Georg Simon. (1826) Versuch einer Theorie der durch galvanische Kräfte hervorgebrachten elektroskopischen Erscheinungen. In: J. C. Poggendorff (Hrsg.): Annalen der Physik und Chemie. Berlin, Band 82, S. 459–469 (speziell S. 459). http://zs.thulb.uni-jena.de/servlets/MCRFileNodeServlet/jportal_derivate_00135011/18260820405_ftp.pdf

OHM, Georg Simon. (1827) Die galvanische Kette, mathematisch bearbeitet. Berlin: Riemann. http://www2.ohm-hochschule.de/bib/textarchiv/Ohm.Die_galvanische_Kette.pdf

O'SULLIVAN, Colm. (1980. August) Ohm's law and the definition of resistance // Physics Education. 15(4): p. 237-239.